

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЧЕСТВА ДРЕССИРОВКИ В РЕЖИМЕ ТЕПЛОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Кулик Т. А., Кулик Н. А.

На основе учета влияния реальных температурных условий реализации процесса дрессировки относительно тонких лент, листов и полос в диапазоне температур теплой деформации уточнена методика расчета механизма формирования остаточных напряжений в полосе и их распределения по высоте сечения. Проведен анализ соотношений остаточных напряжений, напряжений по оси деформации и термомеханического коэффициента учета влияния температурных условий реализации процесса для различных уровней тока и коэффициентов внешнего трения. Показано, что повышение температуры приводит к увеличению уровня остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях относительно тонких лент, листов и полос.

Основуючись на обліку впливу реальних температурних умов реалізації процесу дрессування відносно тонких стрічок, листів і смуг в діапазоні температур теплої деформації, уточнена методика розрахунку механізму формування залишкової напруги в смузі і її розподілу по висоті перерізу. Проведений аналіз співвідношень залишкової напруги, напруги по осі деформації і термомеханічного коефіцієнту обліку впливу температурних умов реалізації процесу для різних рівнів току і коефіцієнтів зовнішнього тертя. Показано, що підвищення температури призводить до збільшення рівня залишкової напруги стискування в поверхневих шарах відносно тонких стрічок, листів і смуг.

Taking into account the influence of real temperature conditions of implementation of temper rolling process referring thin bands, sheets and strips in the range of temperatures of warm deformation the method of calculation of the mechanism of forming of residual stresses in a strip and their distribution along cross-sectional height is specified. The analysis of ratios of residual stresses, tension on an axis of deformation and thermal and mechanical coefficient of temperature conditions effect of process implementation for different levels of current and external friction coefficients is carried out. It is shown that the temperature increase results in the increase of residual stress level of compression in the outer layers referring thin tapes, sheets and strips.

Кулик Т. А.

канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОПМ ДГМА
okmm@dgma.donetsk.ua

Кулик Н. А.

ассист. каф. МПФ ДГМА

УДК 621.771.01

Кулик Т. А., Кулик Н. А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЧЕСТВА ДРЕССИРОВКИ В РЕЖИМЕ ТЕПЛОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В настоящее время в связи с повсеместным внедрением системы всеобщего управления качеством в машиностроение и металлургию, все острее встает вопрос возможности прогнозирования и управления показателями качества готовой металлопродукции. При этом стоит заметить, что считается недопустимым устанавливать пределы качества, ведь само улучшение должно быть системой и составной частью системы управления [1], а значит, оптимизация технологии и оборудования с целью улучшения качества начинается с этапа проектирования качества и циклически повторяется, позволяя непрерывно совершенствовать продукцию. Именно поэтому разработка математических моделей дрессировки, способных прогнозировать качество готовой металлопродукции, столь актуально.

Если рассматривать технологию дрессировки относительно тонких лент, листов и полос, производимой в диапазоне температур теплой деформации, то одним из важнейших показателей качества продукции является распределения остаточных напряжений и деформаций по высоте поперечного сечения, в значительной степени определяющих технико-экономические показатели процессов последующей листовой штамповки [2–4].

Использование технологических схем с подогревом поверхностных слоев полос до температур теплового деформирования, например, за счет контакта с предварительно нагретыми рабочими валками, позволяет управлять уровнями сопротивления металла пластической деформации и характером их распределения а, следовательно, и результирующим распределением остаточных напряжений.

Достаточно подробная методика расчета остаточных напряжений, учитывающая неоднородный характер распределений деформаций и напряжений непосредственно при реализации процесса дрессировки, представлена в работе [2]. Применительно к пластически упрочняющимся материалам в основу данной методики было положено степенное аналитическое описание функциональной связи напряжений σ_j и деформаций ε_j :

$$\sigma_j = C \cdot \varepsilon_j^n, \quad (1)$$

где C , n – коэффициент регрессии и степенной показатель, характеризующие количественно интенсивность деформационного упрочнения данного металла или сплава.

Уравнение (1) при его соответствующей адаптации может быть использовано и применительно к расчету процесса теплой дрессировки. Аналитическая форма записи данной адаптации имеет вид:

$$\sigma_j = C^* \cdot \varepsilon_j^{n^*}, \quad (2)$$

где C^* , n^* – коэффициент регрессии и степенной показатель, определяющие напряжения σ_j^* не только с учетом степени деформации ε_j , а и с учетом температуры t_j металла в данной материальной точке:

$$\sigma_j^* = \sigma_j \cdot n_{tj}, \quad (3)$$

где n_{tj} – термомеханический коэффициент, учитывающий отличие температуры металла в ходе дрессировки от температуры, имеющей место при стандартных испытаниях [6].

С учетом логарифмирования левых и правых частей, уравнение (3) сводится к виду:

$$\ln \sigma_j + \ln n_{tj} = \ln C^* + n^* \ln \varepsilon_j, \quad (4)$$

откуда, с учетом известных, по крайней мере, двух ($j=1$ и $j=2$) значений степени деформации $\varepsilon_j|_{j=1}$, $\varepsilon_j|_{j=2}$, напряжений $\sigma_j|_{j=1}$, $\sigma_j|_{j=2}$, температуры $t_j|_{j=1}$, $t_j|_{j=2}$ и соответствующих ей термомеханических коэффициентов $n_{tj}|_{j=1}$, $n_{tj}|_{j=2}$ путем решения системы двух уравнений с двумя неизвестными могут быть определены значения коэффициентов регрессии C^* и степенного показателя n^* . Последующий же расчет распределений напряжений и деформаций при теплой дрессировке, а также аналогичный расчет распределений остаточных напряжений могут быть произведены в полном соответствии с методикой работы [2].

В качестве примера количественного воплощения предложенной схемы решения на рис. 1 представлены расчетные распределения напряжений σ_j^* и степенного показателя n^* в зависимости от количественных оценок термомеханического коэффициента n_{tj} .

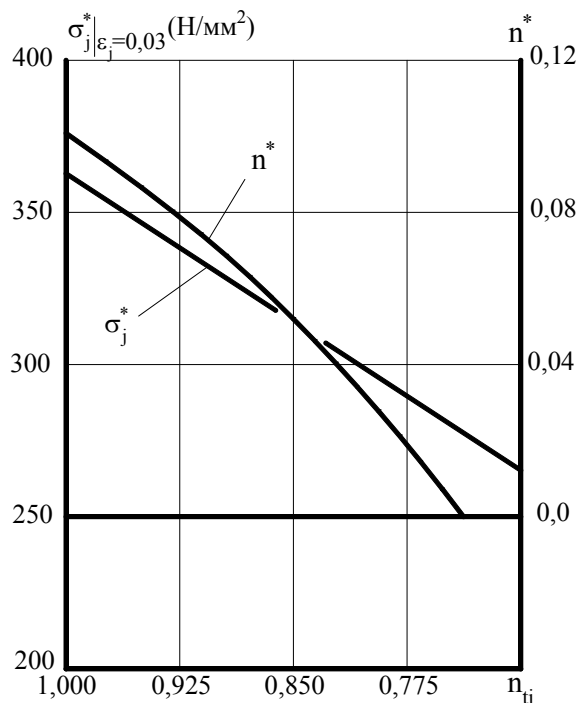


Рис. 1. Расчетные распределения напряжений σ_j^* и степенного показателя n^* уравнения (3) в зависимости от термомеханического коэффициента n_{tj} , характеризующего влияние температуры t_j на величину сопротивления деформации стали 12X18H10T

Данные расчеты были проведены применительно к стали 12X18H10T в диапазоне степеней деформации $\varepsilon \leq 0,03$, а полученные в этом случае результаты свидетельствуют о том, что с уменьшением термомеханического коэффициента n_{tj} , обусловленным повышением температуры деформируемого металла t_j , наряду со снижением напряжений σ_j^* имеет место и достаточно существенное снижение степенного показателя n^* уравнения (3), то есть интенсивность деформационного упрочнения в этом случае снижается. При этом степень снижения рассматриваемого показателя n^* является максимальной по высоте поперечных сечений очага деформации с максимумом температуры на поверхности и ее минимумом по оси обрабатываемой полосы. Отмеченное, в частности, является характерным для условий реализации процесса теплой дрессировки в предварительно нагретых рабочих валках.

Учитывая наличие функциональной связи $n^* = F(n_{tj})$, влияние термомеханического коэффициента n_{tj} на характер распределений по толщине обрабатываемых полос относительных значений нормальных остаточных напряжений $\sigma_{xостj}^* / \sigma_{jc}^*$ иллюстрировано рис. 2. Из результатов анализа представленных расчетных распределений является очевидным, что с увеличением температуры t_j и, как следствие, с уменьшением термомеханического коэффициента n_{tj} повышение степени неоднородности деформированного состояния обуславливает соответствующее повышение степени неоднородности распределений по толщине остаточных нормальных осевых напряжений $\sigma_{xостj}^*$ (см. рис. 2), при этом, с увеличением коэффициента внешнего пластического трения μ , что также является характерным для условий реализации процесса теплой дрессировки, степень неоднородности распределений остаточных напряжений существенно возрастает (см. рис. 3).

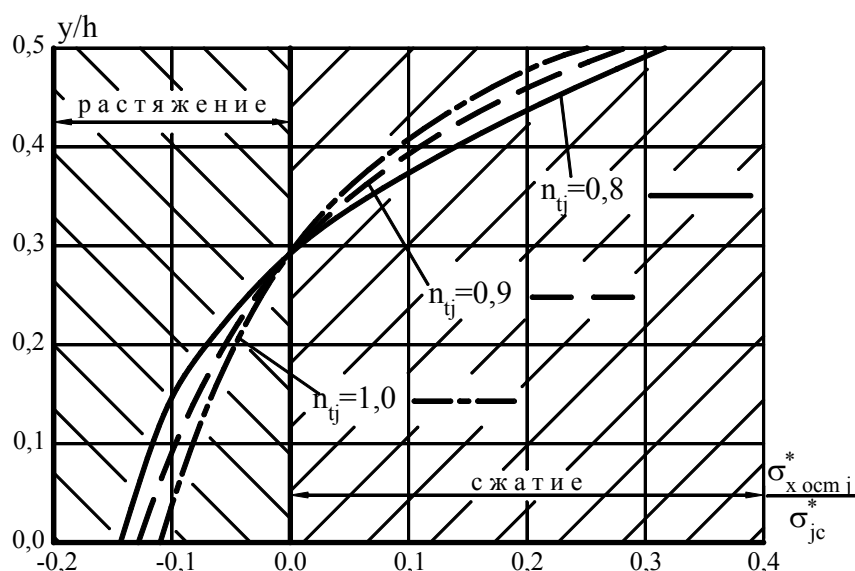


Рис. 2. Расчетные распределения отношения нормальных остаточных напряжений $\sigma_{xостj}^*$ и напряжений по оси очага деформации σ_{jc}^* для различных по уровню (y/h) линий тока в зависимости от термомеханического коэффициента n_{tj} , характеризующего влияние температурных условий реализации процесса теплой дрессировки (сталь X18H10T, $\varepsilon = 0,03$)

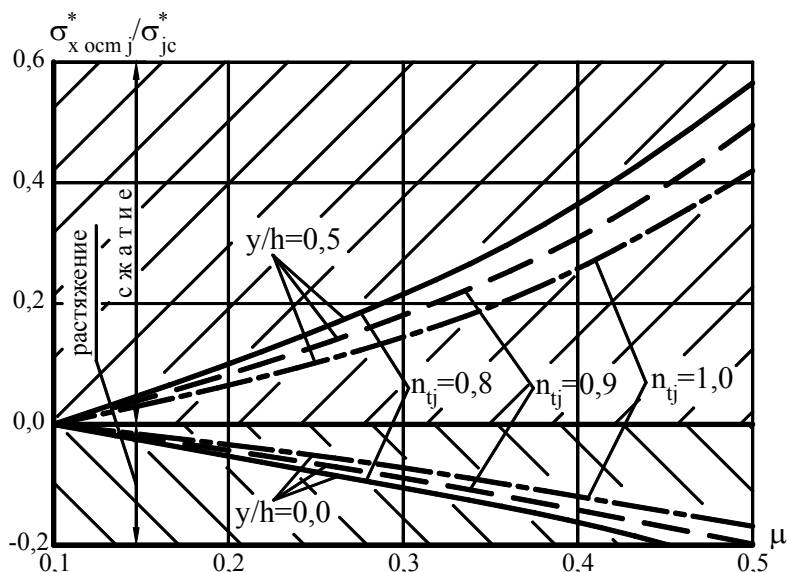


Рис. 3. Расчетные распределения соотношения нормальных остаточных напряжений $\sigma_{x ост j}^*$ и напряжений по оси очага деформации σ_{jc}^* для различных коэффициентов внешнего трения μ в зависимости от термомеханического коэффициента n_{tj} , характеризующего влияние температурных условий реализации процесса тепловой дрессировки (сталь X18H10T, $\varepsilon=0,03$)

ВЫВОДЫ

Таким образом, учет влияния реальных температурных условий протекания процесса дрессировки в диапазоне температур тепловой деформации позволил усовершенствовать математическую модель механизма формирования такого показателя качества готовой продукции, как распределение остаточных напряжений по высоте. Анализ результатов моделирования относительно тонких лент, листов и полос показал, что повышение температуры приводит к увеличению уровней остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях. А это, в свою очередь, делает эффективным использование процесса тепловой дрессировки в предварительно нагретых рабочих валках не только с точки зрения снижения энергосиловых параметров, но и с точки зрения улучшения потребительских свойств заготовок, используемых в дальнейшем при реализации различных технологических схем листовой штамповки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звонилкин Д. А. Принципы всеобщего управления качеством / Д. А. Звонилкин // Молодой ученый. — 2015. — № 17. — С. 448–451.
2. Дрессировка и качество тонкого листа / А. В. Третьяков, Е. М. Третьяков, Г.Н. Мигачева. — М. : Металлургия, 1977. — 232 с.
3. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. — М. : Машиностроение, 1968. — 283 с.
4. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов / С. А. Валиев. — М. : Машиностроение, 1973. — 176 с.
5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. — Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. — 520 с.
6. Особенности учета реальных температурных условий процесса пластического формоизменения металла при реализации процессов обработки давлением в диапазоне температур тепловой деформации / Ю. К. Доброносков, Т. А. Кулик, А. Н. Кулик // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. — Краматорськ : ДДМА, 2001. — С. 599-601.